บทที่ 4

อภิปรายผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์ทางเคมี พบว่า เมล็ดกระบกประกอบด้วยความชื้น ร้อยละ 22.3 โปรตีนร้อยละ 10.6 ไขมันร้อยละ 47.0 กากใยร้อยละ 3.0 เถ้าร้อยละ 1.6 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 20.1(ตารางที่ 1) ถ้าคิดเป็นน้ำหนักแห้งจะมีโปรตีนถึงร้อยละ 13.6 ไขมันร้อยละ 60.4 กากใยร้อยละ 3.9 เถ้าร้อยละ 2.1 และคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 20.1 จะเห็นว่าปริมาณไขมันมีมากถึงร้อยละ 60.4 แต่เป็นไขมันอิ่มตัวถึงร้อยละ 96.98(ตารางที่ 4) ประกอบด้วย lauric acid, myristic acid, palmitic acid, caprylic acid และ stearic acid ร้อยละ 46.64, 42.87, 4.21, 2.90 และ 0.35 ตามลำดับ ขณะที่มีไขมันไม่อิ่มตัวเพียงร้อยละ 3.02 ประกอบด้วย oleic acid และ linoleic acid ร้อยละ 2.68 และ 0.35 เท่านั้น เมล็ดกระบก 100 กรัม จะให้พลังงาน 527 กิโลแคลอรี่ ซึ่งเป็นพลังงานจากไขมัน 423 กิโลแคลอรี่ เด็กกำลังเจริญเติบโตเป็นวัยที่ต้องการพลังงานมากถึงวันละ 2000 ถึง 3000 กิโลแคลอรี่ พลังงานที่ได้รับ ควรได้จากไขมันร้อยละ 25-30 หรือประมาณ 500-900 กิโลแคลอรี่(23) ดังนั้นถ้าให้เด็กวัยเรียนรับประทานเมล็ดกระบกเป็นอาหารว่างเพียงวันละ 120 กรัม ก็จะได้พลังงานเพียงพอกับความต้องการของร่างกายแล้ว อย่างไรก็ดีไขมันกระบกมีอัตราส่วนระหว่าง Polyunsaturated fatty acid และ Saturated fatty acid(P/S) เท่ากับ 0.35/96.98 = 0.004 ค่า P/S ควรมีค่า 0.3-0.4 : 1 หรือ 1 : 1 ตามหลักโภชนาการ โดยพลังงานที่ควรได้รับจากไขมันในอาหารร้อยละ 25-30 นั้นควรมาจากกรดไขมันอิ่มตัวร้อยละ 5-10 กรดไขมันไม่อิ่มตัวชนิด polyunsaturated fatty acid(PUFA) ร้อยละ 6-7 และ monounsaturated fatty acid ร้อยละ 9-13 เพื่อให้ได้รับกรดไขมันที่จำเป็นเพียงพอและน้ำมันที่มี PUFA สูง จะช่วยลด plasma triglyceride ซึ่งกลไกการเกิดยังไม่ทราบแน่ชัด ส่วน monounsaturated fatty acid นั้นไม่ลดหรือเพิ่ม plasma cholesterol อัตราส่วน P/S ช่วยในการประเมินคุณค่าของน้ำมัน หรือไขมันนั้น (24) โดยอาศัยหลักเกณฑ์ดังกล่าว อาจกล่าวได้ว่าไขมันกระบกมีคุณค่าทางโภชนาการต่ำ

ปริมาณ sterol ในไขมันกระบกมีอยู่เพียงร้อยละ 0.54 และส่วนใหญ่เป็น phyto-sterol ซึ่งได้แก่ beta-sitosterol, stigmasterol และ campesterol ร้อยละ 70.8, 18.8 และ 6.5 ตามลำดับ (ตารางที่ 5) phytosterol เหล่านี้จะถูกดูดซึมได้น้อย

ถ้ารับประทานมากๆ จะมีผลยับยั้งการดูดซึมของคอเลสเทอรอลจากอาหารเข้าสู่ร่างกายได้ด้วย (25) ส่วนปริมาณคอเลสเตอรอลในเมล็ดกระบกนั้นมีเพียง 2.7 มิลลิกรัมต่อไขมัน 100 กรัม หรือ 1.63 มิลลิกรัมต่อเมล็ดกระบก 100 กรัม ดังนั้นถ้าคนปกติบริโภคเมล็ดกระบก วันละ 1-2 กิโลกรัม ก็จะได้รับคอเลสเตอรอลประมาณ 30-60 มิลลิกรัม ซึ่งน้อยกว่าปริมาณที่แนะนำโดยคณะกรรมการอาหารและยาในสหรัฐอเมริกา ให้บริโภคคอเลสเตอรอลได้ไม่เกิน 100-300 กรัมต่อวัน(25) แต่ไม่ควรได้รับไขมันจากเมล็ดกระบกเพียงแหล่งเดียว เนื่องจากไขมันกระบกขาดกรดไขมันที่จำเป็น ซึ่งเป็นโครงสร้างสำคัญในเยื่อหุ้มเซลล์ มีบทบาทสำคัญในการสร้างไขมันในเนื้อเยื่ออื่นๆ การสร้างฮอร์โมนพวก prostaglandin และช่วยลดคอเลสเตอรอลในเลือดด้วย ในเด็กถ้าขาดกรดไขมันที่จำเป็น พบว่าการเจริญเติบโตช้าลง ผิวหนังแห้งเป็นสะเก็ด มีแผลเกิด eczema ได้(26)

ในเมล็ดกระบก 1 กรัม มีโพแทสเซียมสูงสุด 6 มิลลิกรัม ฟอสฟอรัส 2.1 มิลลิกรัม แคลเซียม 1.2 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 1.2 มิลลิกรัม แมงกานีส 0.08 มิลลิกรัม และสังกะสี 0.03 มิลลิกรัม(ตารางที่ 2) พิจารณาความต้องการของธาตุเหล่านี้ตามคำแนะนำของ FAO/WHO ในตารางที่ 28 และ Recommended Daily Dietary Allowances ของสหรัฐอเมริกาในตารางที่ 29 (27,28) พบว่าถ้ารับประทานเมล็ดกระบก 1 กิโลกรัม จะได้รับแร่ธาตุเหล่านี้ครบตามที่ร่างกายต้องการ แต่จะขาดธาตุเหล็ก โซเดียม และทองแดง เนื่องจากธาตุเหล็กและทองแดงเป็นธาตุที่จำเป็นในการสร้างเม็ดโลหิตแดง และเอ็นไซม์หลายชนิด การบริโภคแต่เมล็ดกระบก จะทำให้เกิดโลหิตจางได้

เมล็ดกระบกมีวิตามิน อี 3.07 หน่วยสากลต่อกรัม วิตามิน บี1 0.04 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม วิตามิน บี2 0.12 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม และไนอะซิน 0.52 มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม (ตารางที่ 6) ถ้าบริโภคเมล็ดกระบก 1 กิโลกรัม จะได้วิตามิน อี เพียงพอกับปริมาณที่แนะนำแต่ปริมาณวิตามินเอ บี1 บี2 และไนอะซินจะต่ำกว่าปริมาณที่แนะนำ ต้องได้รับจากอาหารอื่นเสริมจึงจะเพียงพอกับความต้องการของร่างกาย(29,30) การบริโภคแต่เมล็ดกระบกอย่างเดียว แม้จะได้รับพลังงานเพียงพอ แต่อาจจะทำให้ร่างกายเจริญเติบโตได้ยาก และอาจเจ็บป่วยเพราะขาดวิตามินเอ บี1 บี2 และไนอะซิน ซึ่งอาจจะทำให้ตาบอด เป็นเหน็บชา และแผลตกกระได้

เมื่อเปรียบเทียบกับธัญพืชอื่นๆ ในตารางที่ 30 เมล็ดกระบกจะให้พลังงานใกล้เคียงกับเมล็ดถั่วลิสง มันฮ่อ และเมล็ด almond เนื่องจากมีไขมันสูงเกือบร้อยละ 50 แต่มีปริมาณโปรตีนต่ำกว่า และ ปริมาณแร่แคลเซียม ฟอสฟอรัส และเหล็ก ปริมาณวิตามิน บี1 บี2 และไนอะซิน ต่ำกว่าตัวอื่นๆ และขาดวิตามิน เอ เช่นกัน

เมื่อเอาเมล็ดกระบกมาสกัดไขมันออกด้วยตัวทำละลายไขมันหรือบีบ อัด เอาไขมันออกด้วยเครื่อง จะได้ส่วนกากกระบกซึ่งมีปริมาณโปรตีนสูงขึ้น ส่วนปริมาณไขมันลดลง ในกากกระบก 100 กรัม มีความชื้น 6.7 กรัม โปรตีน 25.9 กรัม ไขมัน 8.1 กรัม กากใย 7.3 กรัม เถ้า 6.1 กรัม และคาร์โบไฮเดรต 45.9 กรัม คิดเป็นน้ำหนักแห้งมีโปรตีน 27.7 กรัม ไขมัน 8.7 กรัม กากใย 7.9 กรัม เถ้า 6.6 กรัม และคาร์โบไฮเดรต 49.1 กรัม(ตารางที่ 1) ส่วนปริมาณกรดอะมิโน พบว่าโปรตีนในกากกระบก 1 กรัม จะมี glutamic acid สูงสุด 194.1 มิลลิกรัม รองลงมาเป็น aspartic acid, arginine และ leucine ซึ่งมีปริมาณ 106.8, 92.8 และ 80.9 มิลลิกรัม ตามลำดับ ส่วนกรดอะมิโนตัวอื่นๆ มีน้อยประมาณ 20-60 มิลลิกรัม เมื่อนำปริมาณกรดอะมิโนที่จำเป็นแก่ร่างกายมาคำนวณ amino acid score โดยใช้ค่าโปรตีนมาตรฐานของ FAO/WHO ในตารางที่ 27 พบว่า Isoleucine, Leucine, Methionine, Cystine, Phenylalanine, Threonine และ Valine มีค่าเกิน 100 คือมีค่าเทียบเท่าโปรตีนมาตรฐาน ยกเว้น Lysine มีค่าเท่ากับ 65.9 ซึ่งต่ำที่สุด ดังนั้น Lysine จึงเป็น first limiting amino acid จำเป็นต้องได้รับจากอาหารอื่นด้วย นอกจากนี้เป็นที่น่าสนใจว่าปริมาณ glutamic acid ซึ่งเป็นสารชูรส จะมีในกากกระบกในปริมาณสูง (194.1 มิลลิกรัมต่อกรัม) ด้วยเหตุนี้เองเมล็ดกระบก จึงมีรสชาติอร่อย ช่วยในการเจริญอาหาร

ส่วนเกลือแร่ที่พบในกากกระบกนั้นต่างจากเมล็ดกระบก เนื่องจากระหว่างการบีบ อัด เอาส่วนไขมันออก มีการเสียดสีระหว่างโลหะ กับเนื้อในเมล็ดกระบก ในกากกระบก 1 กรัม มีฟอสฟอรัสสูงสุด 6.1 มิลลิกรัม แมกนีเซียม 4.6 มิลลิกรัม แคลเซียม 3.3 มิลลิกรัม โพแทสเซียม 1.8 กรัม เหล็ก 1.6 มิลลิกรัม แมงกานีส 0.17 มิลลิกรัม โซเดียม 0.14 มิลลิกรัม สังกะสี 0.09 มิลลิกรัม และทองแดง 0.03 มิลลิกรัม แต่ยังพบว่ามีธาตุเหล็ก ทองแดง และโซเดียมในปริมาณน้อยมาก(trace) ในขณะที่เมล็ดกระบกไม่พบธาตุเหล่านี้เลย และมีปริมาณฟอสฟอรัส แมงกานีสและแคลเซียม เพิ่มมากขึ้น ขณะที่ปริมาณโพแทสเซียมจะลดลง ถ้ารับประทานกากกระบกวันละ 1 กิโลกรัม จะได้แร่ธาตุเหล่านี้ครบถ้วน ตามที่ร่างกายต้องการ ขณะเดียวกันจะได้รับปริมาณกากใยมากขึ้นด้วย ซึ่งมีถึงร้อยละ 7.3 กรัม เป็นการเพิ่มส่วนที่ร่างกายไม่สามารถย่อยได้

ทำให้มีปริมาณอุจจาระมากขึ้น ในตารางที่ 30 ได้เปรียบเทียบปริมาณสารอาหารต่างๆ ที่พบในเมล็ดกระบกและกากกระบกกับเมล็ดธัญพืชอื่นๆ พบว่ากากกระบกจะมีปริมาณกากใยสูงสุด แต่มีแร่ธาตุแคลเซียม ฟอสฟอรัส ต่ำกว่าธัญพืชอื่นๆ

การทดสอบคุณภาพของโปรตีนของเมล็ดกระบก โดยดูอัตราการเจริญเติบโตของสัตว์ทดลอง เปรียบเทียบกับโปรตีนในเคซีอินมาตรฐาน ที่มีโปรตีนอยู่ร้อยละ 91.5 (ตารางที่ 24) โดยอาหารทดลอง กลุ่มมาตรฐานจะมีโปรตีนจากเคซีอินมาตรฐาน กลุ่มทดลอง 1 และ 2 มีโปรตีนจากกากกระบก แตกต่างกันที่แหล่งของไขมัน โดยกลุ่มทดลอง 1 ได้จากน้ำมันข้าวโพด ส่วนกลุ่มทดลอง 2 ได้จากไขมันกระบก

เมื่อนำอาหารมาเลี้ยงสัตว์ทดลอง เป็นเวลา 28 วัน นำค่าน้ำหนักตัวของสัตว์ทดลองที่เพิ่มขึ้น และปริมาณโปรตีนที่กินเข้าไป มาคำนวณค่าประสิทธิภาพในการใช้โปรตีน (Protein Efficiency Ratio,PER) แล้วนำมาเปรียบเทียบกับกลุ่มมาตรฐาน โดยกำหนดให้ค่า PER ของกลุ่มมาตรฐานมีค่า 2.84 พบว่ากลุ่มทดลอง 1 (โปรตีนกากกระบก และน้ำมันข้าวโพด) มีค่า PER = 1.81 และ cPER = 1.59 กลุ่มทดลอง 2 (โปรตีนกากกระบก และไขมันกระบก) มีค่า PER = 1.45 และ cPER = 1.28 (ตารางที่ 8,9)

เมื่อนำค่า PER มาวิเคราะห์ความแปรปรวน(Analysis of Variance ,ANOVA) ในตารางที่ 10 ดูความแตกต่างระหว่างกลุ่ม พบว่าค่า PER ทั้ง 3 กลุ่ม แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 0.005(p 0.005)ในภาคผนวก ง.1 และค่าความแตกต่างระหว่างคู่(Honestly Significant Difference test หรือ HSD) มีความแตกต่างจริงที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99 % แสดงว่ามีความแตกต่างระหว่าง 3 กลุ่มจริง

สำหรับกลุ่มสัตว์ทดลองที่ได้รับอาหารที่ไม่มีโปรตีน (protein free diet) พบว่าในช่วง 2-3 วันแรก น้ำหนักตัวของสัตว์ทดลองจะลดลงมาก ในระยะต่อมาน้ำหนักที่ลดลงจะช้าลงจนเกือบคงที่ เมื่อเลี้ยงด้วยอาหารที่ไม่มีโปรตีนนี้ต่อไป ในสัปดาห์ที่ 3 จะผอมลงมาก ไม่มีแรง ขนจะร่วง มองดูขนเปียกตลอดเวลา จับเป็นก้อนขึ้นตั้งตรง ผิวหนังสีซีดจนขาว ไม่ค่อยเคลื่อนไหว จะขดอยู่ในภาชนะใส่อาหาร จะอยู่นิ่งๆ และตายในที่สุดประมาณสัปดาห์ที่ 5 ถ้านำมาเลี้ยงด้วยอาหารปกติใหม่ ในสัปดาห์ที่ 4 พบว่าภายในสัปดาห์ถัดมา(สัปดาห์ที่ 5) น้ำหนักจะขึ้นเร็วมาก ประมาณ 45-50 กรัม และช้าลงจนปกติ คล้ายกับว่ามันพยายามเร่งน้ำหนักตัวให้ทันกลุ่มที่ให้

อาหารปกติ แล้วจึงช้าลง จนมีอัตราเท่าปกติ ในการคำนวณค่า NPR จะคำนวณจากน้ำหนักตัวที่ลดลงใน 10-14 วันแรก มาเป็นค่าโปรตีนที่ใช้เพื่อรักษาสมดุลของร่างกาย จึงมีค่าเท่ากับ 3.03 และ 3.84 กรัม ในวันที่ 10 และ 14 ตามลำดับ ค่า NPR ที่คำนวณได้ (ตารางที่ 12-17) พบว่า ค่าNPR ของกลุ่มที่เลี้ยงด้วยเคซีอีน ในวันที่ 10 และ 14 มีค่าเท่ากับ 2.92 และ 3.12 ขณะที่กลุ่มทดลอง 1 และ 2 ค่า NPR ในวันที่ 10 มีค่า 2.34 และ 1.82 ในวันที่ 14 มีค่า 2.03 และ 1.68 ตามลำดับ ถ้านำมาเปรียบเทียบกับกลุ่มมาตรฐานให้ค่า NPR ของกลุ่มมาตรฐานเป็น 100 ได้ค่า RNPR ของกลุ่มทดลอง 1 และ 2 ในวันที่ 10 มีค่าเท่ากับ 80.07 และ 62.26 ส่วนในวันที่ 14 มีค่า 64.91 และ 53.72 ตามลำดับ จะพบความแตกต่างระหว่างกลุ่ม(ตารางที่ 18) เมื่อคำนวณค่าทางสถิติ(ANOVA) มีความแตกต่างจริง(ภาคผนวก ง.1) มีค่า p Value = 0.005 ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 และ 99% แสดงว่ามีความแตกต่างของกลุ่มทั้ง 3 จริง

การที่คำนวณค่า NPR ในวันที่ 10 และวันที่ 14 วัน เนื่องมาจากหนูที่นำมาเลี้ยงมีอายุ 21 วัน เป็นช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการเจริญเติบโตสูง เมื่อเลี้ยงนาน 2 สัปดาห์ จะมีอายุ 5 สัปดาห์ คงเห็นผลการเปลี่ยนแปลงของการใช้โปรตีน และน้ำหนักตัวที่ลดลงของกลุ่มไม่มีโปรตีนเห็นได้ชัด ได้ค่าโปรตีนที่ใช้ในการรักษาสมดุลย์(maintenance)ที่ถูกต้อง ถ้าเลี้ยงนานกว่านี้ อัตราการลดลงของน้ำหนักจะลดลง เพื่อความอยู่รอดของมัน ค่าที่ได้จะผิดไป

ค่าของ NPR นี้ค่อนข้างคงที่และน่าเชื่อถือกว่า PER(29) ค่า NPR ของกลุ่มมาตรฐานในวันที่ 10 และ 14 มีค่าใกล้เคียงกัน เท่ากับ 2.92 และ 3.12 แต่ในกลุ่มทดลอง 1 ในวันที่ 10 และ 14 มีค่า RNPR เท่ากับ 80.07 และ 64.91 ในกลุ่มทดลอง 2 เท่ากับ 62.26 และ 53.72 ซึ่งกลุ่มทดลอง 1 มีค่า RNPR มากกว่ากลุ่มทดลอง 2 อยู่ 17.81 ในวันที่ 10 และ 10.09 ในวันที่ 14 ดังนั้นถ้าเลี้ยงหนูนานมากขึ้น อัตราการเปลี่ยนแปลงของน้ำหนักตัวช้าลง อาจทำให้ไม่เห็นความแตกต่างของคุณภาพโปรตีนทั้ง 2 ชนิด ควรใช้น้ำหนักตัวของกลุ่มทดลองไม่เกิน 2 สัปดาห์

ค่า PER และค่า NPR มีความแตกต่างทั้ง 3 กลุ่ม โดยกลุ่มทดลอง 1 มีค่า cPER มากกว่ากลุ่มทดลอง 2 อยู่ 0.31 เช่นเดียวกับค่า RNPR ของกลุ่มทดลอง 1 มากกว่ากลุ่มทดลอง 2 ในวันที่ 10 อยู่ 17.81 และในวันที่ 14 อยู่ 10.19 สามารถอธิบายได้ว่า นอกจากคุณค่าของโปรตีนที่ทำให้สัตว์มีอัตราการเจริญเติบโตได้ต่างกันแล้ว กรดไขมันที่จำเป็นสำคัญในการเจริญ

เติบโต ช่วยให้การใช้โปรตีนและการเกิดเมตาบอลิซึมของร่างกายเป็นไปตามปกติ เป็นการส่งเสริมคุณค่า ของโปรตีนนั้นด้วย(24,25) ดังนั้นการหาค่า PER และ NPR ตามวิธีของ AOAC จึงแนะนำให้ใช้น้ำมันเมล็ดนุ่น น้ำมันถั่วเหลือง หรือน้ำมันข้าวโพด เป็นมาตรฐานเดียวกับกลุ่มเคซีอีน ดูเฉพาะความแตกต่างของคุณค่าโปรตีนเท่านั้น

เมื่อนำอุจจาระและปัสสาวะของกลุ่มทดลอง 1 และกลุ่มปราศจากโปรตีน มาวิเคราะห์หาปริมาณไนโตรเจนที่ถูกขับออกมา คำนวณเปรียบเทียบกับปริมาณไนโตรเจนที่กินเข้าไป ดังแสดงในตารางที่ 19 และ 20 หาค่า Biological Value, True Digestibility และ Net Protein Utilization ได้ค่า 97.45, 67.82 และ 66.04 ตามลำดับ ในตารางที่ 21 เมื่อเปรียบเทียบค่า BV และ NPU ของอาหารอื่นๆ (ตารางที่ 31) พบว่าค่า BV(ความสามารถที่ร่างกายดูดไนโตรเจนเข้าไปเก็บสะสมไว้ในร่างกาย) ของกากกระบกนี้สูงใกล้เคียงกับไข่ แต่เนื่องจาก TD (ความสามารถในการย่อยให้ร่างกายนำไปใช้ได้)ต่ำร้อยละ 67.82 จึงทำให้ค่า NPU นี้ต่ำมีค่าเท่ากับ 66.04 ขณะที่ไข่มีค่า NPU เท่ากับ 93.5 อย่างไรก็ตามค่า NPU ของกากกระบกจัดได้ว่าสูงกว่าธัญพืชชนิดอื่นๆ ร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ร้อยละ 66 มากกว่าถั่วเหลือง และเมล็ดทานตะวัน จึงเป็นอาหารเสริมโปรตีนได้ และช่วยเสริมไขมันให้พลังงานแก่เด็กวัยเจริญเติบโตได้ดีหรือนำกากไปใช้เป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมอาหารสัตว์ได้ดีแทนกากถั่วเหลืองที่มีราคาแพงมากขึ้น และขาดแคลนจนต้องมีการนำเข้าทำให้สูญเสียเงินตราออกนอกประเทศปีละหลายล้านบาท